内部執筆

断熱性能測定技術の評価方法の開発 革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価 （測定法評価技術検討部会）

萩原 伸治

1. はじめに

環境問題，廃棄物問題など社会的背景により，平成21年6月4日に「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が施行された。これは，従来のフロー消費型からストック型への転換を目指したものであり。劣化対策，耐震性，省エネルギー性などの性能を高くし，良質な住宅とすることで住宅の価値を高めるものである。また，平成21年12月8日に「明日の安心と成長のための緊急経済対策」が閣議決定され，平成22年1月28日に平成21年度2次補正予算が成立したことを受け，経済産業省，国土交通省，環境省の三省合同事業として住宅版エコポイントが開始された。

これらは，ある一定の基準，性能を満たした建物や，製品を使用することにより優遇措置を行うもので，環境対策や経済活性化を図ることを目的としたものである。

長期優良住宅，住宅版エコポイントにも大きく関係する省エネ化については，これらが開始される以前から対策が行われており，その一例として断熱性能の向上が挙げられる。断熱性能の向上のためには，壁などを例に挙げると，熱抵抗を大きくすること，熱伝導率が小さい断熱材などを適切な厚さで施工することが重要である。

しかし，断熱材の熱伝導率を小さくするために使用されていたフロン類は，オゾン層破壊，地球温暖化など地球環境への影響が大きく，オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書（1987年），京都議定書（1997年）などによりその使用は規制され，またこれらに関連する法律などにより使用制限，廃止されている。フロン類は数種類あり具体的にオゾン破壊係数，地球温暖化係数などによりその影響の大きさが示されている。これまで使用されてきたフロン類を使用した製品に関しては，フロン回収・破壊法などにより，廃棄時の処理実施が義務付けられている。このような社会的な情勢の中，断熱材もノンフロン化が進み，発泡系断熱材のJISは，ノンフロン品，フロン品の区分が表示されるようになった。

一般に，ノンフロン系断熱材は，従来のフロン類を使用した断熱材より熱伝導率が大きいという傾向がある。この状況を解決するために，現在様々なノンフロン系断熱材の開発が行われている。

一方，熱伝導率が小さなノンフロン系断熱材が開発された際，熱伝導率を測定する技術・装置はその性能を評価できるか，という課題がある。断熱材の開発と合わせて，測定技術・装置の開発，及びその測定技術・装置の実用性に対する客観的な評価が必要となる。

2. 測定法評価技術検討部会について

本プロジェクトは，NEDO（㈱立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）で実施されている「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」においてノンフロン系断熱材の開発，新しい断熱性能の測定技術開発，断熱材及び熱伝導率測定技術の実用性の評価などを行うことを目的としている。

その中の1テーマとして本報告で示す「測定法評価技術検討部会（部会長：加藤信介東京大学教授）」は，断熱材の熱伝導率を測定する際の技術に対して，その実用性を客観的に評価できるツールを作成し，またその実用性評価を実施することが目的である。測定技術の実用性評価を行うため，本部会においては実用性評価指針と自己評価表の作成を行っている。

本報告は，部会において昨年度まで取りまとめた成果について報告するものである。

3. 評価実施例

3.1 評価方法

ここでは，本部会が昨年度までに作成した評価指針（案），自己評価表（案）に基づき評価を実施した一例を示す。

評価を行う際のフローを**図1**に示す。

表1　評価ポイントの一例

	評価（ポイント）	1	2	3	4	5
a	測定性能 熱伝導率W/(mK)	0.1以上	0.1以下	0.024以下	0.01以下	0.005以下
b	測定精度 (不確かさ)	10%以上	10%以下	5%以下	3%以下	1%以下
c	測定時間	12時間以上	12時間以下	1時間以下	30分以下	10分以下
d	可搬性	不可 1部屋程度	不可 床上設置	不可 卓上	可 計測器ラック等	可 ハンディータイプ
e	操作性	・初心者不可 ・多量の取扱説明書 ・講習が必要	・初心者不可 ・多量の取扱説明書	・初心者不可 ・取扱説明書	・初心者可 (工学知識必要) ・取扱説明書	・初心者可 (工学知識必要)
f	安全性	要注意箇所が多い 機械の露出部あり 感電,怪我の可能性あり	―	要注意箇所有り 一部機械の露出部あり	―	通常の使用範囲で あれば怪我の問題なし
g	装置価格	1,000万以上	1,000万以下	500万以下	100万以下	50万以下
h	費用/回	10万以上	―	3万以下	―	1万以下

図1　評価のフロー概要

注）評価軸の記号は表1に対応

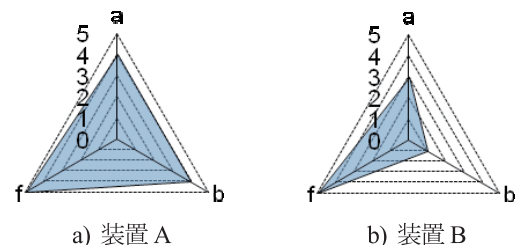
図2　レーダーチャート作成例（その1）

注）評価軸の記号は表1に対応

図3　レーダーチャート作成例（その1）

まず，熱伝導率の測定を行う実施者または第三者が，評価指針（ガイドライン）に従って，その測定技術（測定装置）に対して評価を行っていく。

評価指針は，大きな枠組みを示したものであり，実際の作業としては，自己評価表に対してチェックを行い，そのチェック内容に基づき評価を行うことになる。

自己評価表は，以下に示すように，ここではレーダーチャートによる評価手法を用いているが，これはあくまで一例である。一つの技術を多数の者が評価を行い，統計的な整理を行っても評価が可能である。

3.2　レーダーチャートの作成

自己評価表を開発者または第三者が行ったとして，それを視覚的に分かりやすくする目的としてレーダーチャートにより表現する方法を用いた。各項目において1〜5のポイントを設け，レーダーチャートを作成する。この際，自己評価表の全てをレーダーチャートにすることは難しいので，重要と思われる項目をピックアップして作成を行った。ここでは評価項目として取り上げた項目と評価ポイントの一例を**表1**に示す。この評価ポイントに基づき2つの熱伝導率測定技術（装置）に対してレーダーチャートを作成したものを**図2**及び**図3**に示す。

図2及び**図3**は，同じ評価を行ったものであり，表示している項目が異なるだけである。**図2**より，装置Aと装置Bを比較すると，装置Bの方が総合的にポイントが高い傾向に見える。一方，**図3**では，その逆に装置Aの

表2　ニーズを考慮した場合の評価ポイントの一例

評価（ポイント）		1	2	3	4	5
a	―	0.1以上	0.1以下	0.024以下	0.01以下	0.005以下
b	研究	10%以上	10%以下	5%以下	3%以下	1%以下
	試作	10%以上	10%以下	5%以下	3%以下	1%以下
	量産試作	15%以上	15%以下	10%以下	5%以下	3%以下
	現場	15%以上	15%以下	10%以下	5%以下	3%以下
c	研究	12時間以上	12時間以下	1時間以下	30分以下	10分以下
	試作	12時間以上	12時間以下	1時間以下	30分以下	10分以下
	量産試作	30分以上	30分以下	10分以下	5分以下	1分以下
	現場	30分以上	30分以下	10分以下	5分以下	1分以下
d	研究	不可 1部屋程度	不可 床上設置	不可 卓上	可 計測器ラック等	可 ハンディータイプ
	試作	不可 1部屋程度	不可 床上設置	不可 卓上	可 計測器ラック等	可 ハンディータイプ
	量産試作	不可 100kg以上	不可 100kg以下	不可 50kg以下	可 20kg以下	可 10kg以下
	現場	不可	可 40kg以下	可 20kg以下	可 10kg以下	可 3kg以下
e	―	・初心者不可 ・多量の取扱説明書 ・講習が必要	・初心者不可 ・多量の取扱説明書	・初心者不可 ・取扱説明書	・初心者可 (工学知識必要) ・取扱説明書	・初心者可 (工学知識必要)
f	―	要注意箇所が多い 機械の露出部あり 感電,怪我の可能性あり	―	要注意箇所有り 一部機械の露出部あり	―	通常の使用範囲で あれば怪我の問題なし
g	研究	1,000万以上	1,000万以下	500万以下	100万以下	50万以下
	試作	1,000万以上	1,000万以下	500万以下	100万以下	50万以下
	量産試作	500万以上	500万以下	100万以下	50万以下	10万以下
	現場	500万以上	500万以下	100万以下	50万以下	10万以下
h	―	10万以上	―	3万以下	―	1万以下

注）“ー”はここでは段階の区分を行っていない。

方がポイントが高い傾向に見える。このように，評価を行う際，どの項目に重点を置くか，または着目するかにより，同じ見え方が異なってくる。

評価項目に対する重要度（要求される度合い）は，測定技術（装置）がどの段階（研究・開発，試作，量産試作，現場など）で使用されるかにより異なる。ここで示す「段階」とは，断熱材又は断熱製品に対して熱伝導率の測定をいつ行うか，を示したものである。

例えば，研究所のような場所で断熱材又は断熱製品の製品開発を行っている時にその性能を確認するために熱伝導率測定を行う場合であれば，この段階は「研究・開発」となる。この研究・開発の段階において熱伝導率測定に対する要求（ニーズ）は，多少時間がかかっても得られる結果に対して信頼性が高いことなどが考えられる。

一方，工場などでの量産試作の段階では，測定にかかる時間は短く，また操作性もある程度簡易的で測定装置が安価な方が良い，などの要求（ニーズ）が考えられる。安全に使用できるかどうかは，各段階において共通したニーズと考えられる。

このように各段階において要求（ニーズ）が異なり，これらの要求（ニーズ）を考慮した内容へ評価項目を反映させる必要がある。ニーズは，評価を行う段階（研究・開発，試作，量産試作，現場など）において，また様々な要因により異なり，その項目に要求される重要性（重み）も異なってくる。

ニーズを考慮して各段階に重みを付けることで，測定技術・装置の評価が各段階において異なってくる。

表2にニーズを考慮した場合の評価ポイントの一例と，そのポイントを用いて作成したレーダーチャートを**図4**に示す。なお，ここに示すレーダーチャートは，段階において評価項目数を変化させたものである。

このように，段階別に重みを付けた評価を行うことにより，測定技術・装置がどの段階で有効性があるか，視覚的に分かりやすくなると考えられる。なお，レーダーチャートで表現する項目については，様々なパターンが考えられ，項目の選定によっては同じ測定技術・装置であっても，その視覚的に受ける印象が異なる場合もある。そのため，項目の選定に当たっては，各段階におけるニーズを反映したものが最良と考えられる。**図5**に示すような全ての段階において統一的な表現を行う場合には，同じ項目を選定したレーダーチャートで表現する方法も一つの手法である。

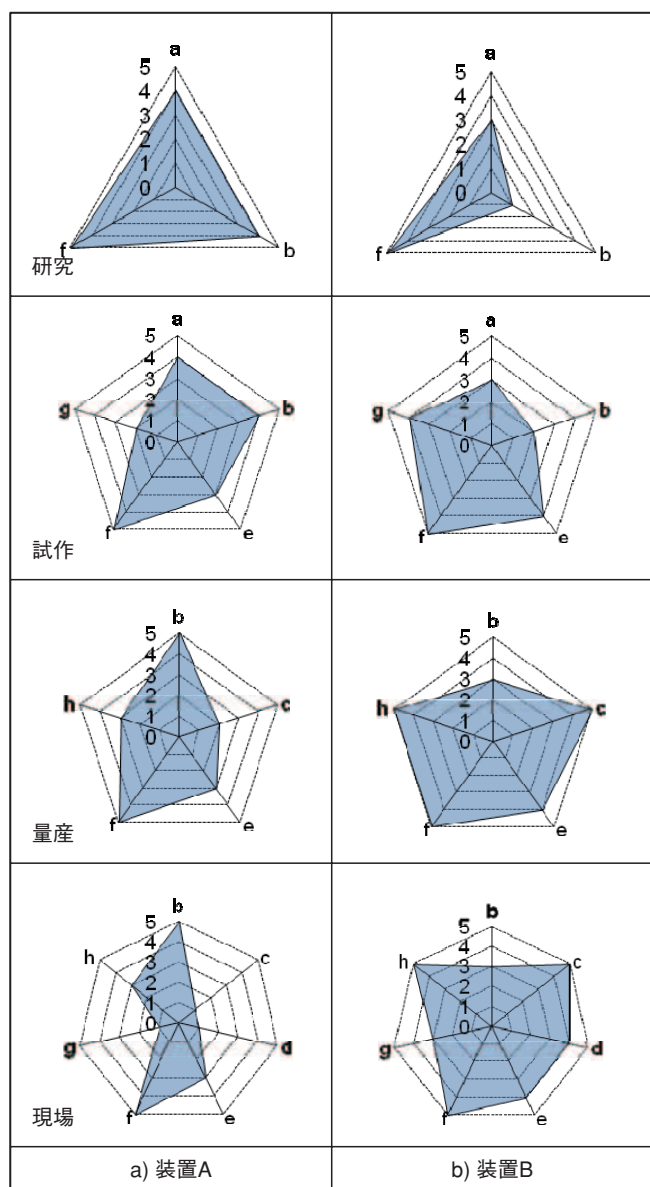
なお，評価項目として重要であるが，その結果をレーダーチャートで表現できない項目などは，別途，評価項

注）評価軸の記号は表1に対応

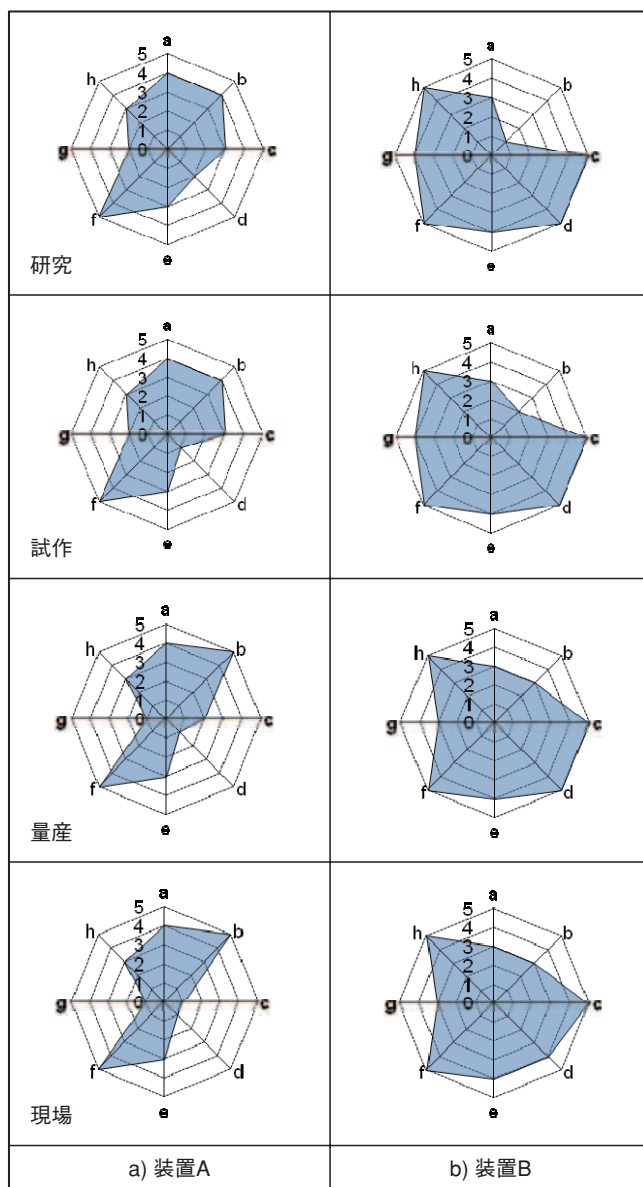
図4　ニーズを考慮した場合のレーダーチャート作成例（段階別に評価軸を変化させた場合）

注）評価軸の記号は表1に対応

図5　ニーズを考慮した場合のレーダーチャート作成例（全ての段階を同じ評価軸とした場合）

目の一覧表として表記するなどの対応が必要である。例えば，必須項目（1次項目）と付属項目（2次項目）というように評価項目を区分して，1次項目は内容を記載した「表」，2次項目は「レーダーチャート」として表現する方法などを用いることも有効な手法の一つである。

4．まとめ

今後，この評価手法を複数の技術（装置）に対して実施することにより，評価指針及び自己評価表の見直しなどを行い，実用性評価の構築を行う予定である。

なお，次ページには本部会で取りまとめた「断熱建材の断熱性能測定技術の実用性評価指針（案）を記す。

＊執筆者

萩原 伸治（はぎはら・しんじ）
㈶建材試験センター中央試験所
環境グループ　主任
博士（工学）

断熱建材の断熱性能測定技術の実用性評価指針（案）

1 適用範囲

この指針は，主に断熱建材（建築物に使用することを想定した断熱材及び断熱製品）の断熱性能を測定する技術の実用性評価に適用する。

実用性評価とは，何処で（測定場所），何を（測定対象），どのように（測定方法）測定するかという目的に対して開発された技術の，測定精度，測定対象に要求される事項，測定結果の使用目的との整合性といった基本性能や実用性を評価する項目によって工学的に検証するシステム及び検証行為をいう。この実用性評価は，併せて安全性，操作性，経済性，環境影響なども検証し，使用上または普及上の合理性を評価するものである。

解説）この指針は，開発者による自己評価や，第三者による客観的な評価に用いられることを想定して定めたものである。

解説）この指針は，NEDO技術開発機構の「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」で開発された断熱性能測定技術の実用性評価のために作成されたものであるが，同プロジェクトでの開発に限らずその他測定技術の開発においても適用可能なものであるため，公開を前提としてまとめた。

2 用語の定義

本指針に用いる用語を以下のように定義する。

a）**断熱材**　断熱性能を有する建築材料をいう。

b）**断熱製品**　断熱材を用いた断熱パネルなどの製品をいう。

c）**基本性能**　この指針で扱う基本性能は以下の通りである。

1）熱伝導率の測定範囲　【最終目的である熱伝導率を挙げておく】

解説）最終の結果表示は，熱伝導率とすること。

2）測定環境

3）校正の不確かさ

4）測定の不確かさ

5）測定可能対象

d）**実用性**　実用性は，基本性能に加えて，安全性，操作性，経済性，環境影響等をいう。

e）**開発フェーズ**　断熱性能測定技術の開発段階をいう。各フェーズの内容を以下に示す。

1）フェーズ０　基本的事項の計画または研究（測定目的，測定対象，測定場所等）

2）フェーズ１　基本設計によって開発の目的を達成できるかを検証する段階，試作段階

3）フェーズ２　目的に合致した装置として製造・製作が可能かを検証する段階，実用段階（１）

4）フェーズ３　目的に対する測定技術の精度とコスト等普及に向けた検証を行う段階，実用段階（２）

5）フェーズ４　製品として生産・販売する段階，普及段階

3 実用性評価項目

本指針における実用性評価は，フェーズ1～フェーズ3を対象とし，フェーズ毎に，次に掲げる実用性評価項目のうち関連する項目について検討を行う。

実用性評価項目	基本性能	a）熱伝導率の測定範囲
		b）測定環境
		c）校正の不確かさ
		d）測定の不確かさ
		e）測定可能対象
	実 用 性	f）測定時の安全性
		g）試料の処理方法
		h）操作性
		i）経済性
		j）環境影響
		k）その他関連する項目

解説）

b）測定環境	測定条件（温度，湿度，圧力，雰囲気ガス）等。
c）校正の不確かさ	校正方法，校正頻度，校正に要する時間等。
e）測定可能対象	異方性材料，等方性材料，均質材料，複合材料，導電性材料等。
h）操作性	測定に要する時間も含む。
j）環境影響	測定時に起こり得る影響等。

4 実用性評価の手順及び実施方法

本指針における実用性評価は，測定技術の開発者が自己評価表を用いて宣言・表明する「一次評価」と，客観的な立場の者が行う「二次評価」からなる。

評価の基本的な分類は下表の通りとする。

フェーズ	評価する実用性評価項目	実施する評価	
1	a)，b)，c)，d)，e)	一次評価	
2	a)，b)，c)，d)，e)，f)，g)，h)	一次評価	二次評価
3	a)，b)，c)，d)，e)，f)，g)，h)，i)，j)，k)	一次評価	二次評価

5 一次評価

一次評価は，評価項目に対して検証・試験方法を定めた自己評価表を用いて，開発者が自ら実施する。

5.1 評価項目

フェーズ1では基本性能の評価を行い，フェーズ2及びフェーズ3では実用性の評価を行う。評価項目の詳細は，自己評価表等により別途定める。

5.2 検証・試験方法

検証·試験方法の詳細は，自己評価表等により別途定める。

6 二次評価

二次評価は，一次評価結果の技術的合理性の検証に加え，さらに必要と考えられる課題を整理しこれを評価し，必要に応じて検証を行う。

二次評価は，開発された測定技術の使用者，有識者などの第三者で構成される評価委員会が行う。

6.1 評価・判定項目

評価・判定項目の詳細は，自己評価表等により別途定める。

6.2 検証方法

検証方法の詳細は，自己評価表等により別途定める。

7 評価結果の表示

評価委員会が二次評価を行った結果は，評価結果として報告する。その内容は，以下の項目を含むものとする。

基本性能	a) 熱伝導率の測定範囲	b) 測定環境
	c) 校正の不確かさ	d) 測定の不確かさ
	e) 測定可能対象	
実 用 性	f) 測定時の安全性	g) 試料の処理方法
	h) 操作性	i) 経済性
	j) 環境影響	k) その他関連する項目

自己評価表（案）

自己評価表は，実用性評価指針に従い，開発者が自ら実施するために必要となる項目を整理したものである。また，開発された測定技術の使用者，有識者などの第三者などにおける評価にも使用できるものである。

自己評価表は，基本性能と実用性から構成され，基本性能はa)～e)の5項目，実用性はf)～k)の6項目からそれぞれ構成される。以下に自己評価表の内容を示す。

【基本性能】

a）熱伝導率の測定範囲

No	大項目	小項目
1	測定範囲	熱伝導率 ～ W/(m·K)
2	測定項目	熱拡散率 (m^2/s)
		比熱(熱容量) (J/(kg·K))
		熱浸透率 (J/($s^{0.5}$·m^2·K))
		その他
3	測定時の試料加熱方法	定常法
		非定常法：パルス加熱
		非定常法：周期加熱
		非定常法：ステップ加熱
		その他
4	測定方法 (関連規格等)	絶対法
		比較法
		その他
5	熱移動の方向	厚さ方向
		面方向
		線熱源を軸とした径方向
		点
		その他

b）測定環境

ユーザー側が判断する項目，又は装置開発者が提示する項目

No	大項目	小項目
6	測定場所	研究室
		工場
		現場
		その他
7	測定場所の環境	温度変動の有無
		高温多湿の環境
		低温の環境
		電源のノイズ
		電磁波
		気圧（真空，大気圧）
		強力な磁場が周囲にある
		特殊な環境
		振動（地下鉄，交通，その他）
		その他
8	試料姿勢	垂直
		水平
		その他
9	測定部の状態	平面
		凹凸面
		曲面
		試料内部に差し込む
		その他

装置の測定範囲

No	大項目	小項目
10	測定の雰囲気	大気中
		その他
11	測定温度の範囲	低温（0℃以下）
		常温（0～70℃程度）
		高温（100℃以上）
12	測定厚さの範囲	厚さ ～ mm
13	測定面積	面状
		線
		点

測定システム

No	大項目	小項目
14	温度測定	接触式
		非接触式
		測定点数
15	熱量測定	電流，電圧，抵抗
		熱線の長さ
		熱流計
		その他
16	厚さの測定	装置，機器
		測定場所
		測定回数
17	時間の測定	
18	測定時の試料の設置方法	接触圧あり（接触荷重）
		接触圧なし
		その他

c）校正の不確かさ

No	大項目	小項目
19	校正の有無	校正　必要
		校正　不要
20	校正方法	自己点検
		外注
21	参照標準の有無	有り
		無し
22	校正頻度	
23	校正に要する時間	
24	校正作業	自己校正
		メーカー校正
25	校正の不確かさ	

d）測定の不確かさ

No	大項目	小項目
26	測定値の信頼性	定期検査の方法
		定期検査の頻度
27	測定精度	不確かさ
		再現性
28	測定分解能	

e）測定可能対象

No	大項目	小項目
28	試料の寸法	厚さ
		寸法
		面積
29	試料の形状，品質	平板状，シート状
		現場発泡
		不均一性
		積層構成
		面材の有無
		繊維の配列等による異方性
		材質の安定性
30	測定対象	個体
		気体
		液体

【実用性】

f）測定時の安全性

No	大項目	小項目
30	安全性	
31	火傷，怪我などの危険性	なし
		要注意箇所有り
32	火災	

g）試料の処理方法

No	大項目	小項目
33	試料の条件	処理の必要なし
		製品形状のまま
		現位置測定
		測定用に加工
34	測定する試料の状態	サンプリングの必要性
		梱包の有無
		養生の必要性
		測定する温度の依存性
		水分の影響
34	測定する試料の状態	ガスによる空孔径内空気の置換
		気泡，空隙の大きさ
		その他

h）操作性

No	大項目	小項目
35	操作性	
36	測定者の習熟度	
37	測定開始前の装置準備	数分
		1時間以内
		1時間以上
38	測定に要する時間	数分
		数時間
		数日
39	1試料における測定回数	回
40	装置重量	数kg，数百kg，数t
41	可搬性	

i）経済性

No	大項目	小項目
42	装置価格	価格￥
43	測定コスト	1回に掛かる経費
44	装置を提供できるまでの期間	

j）環境影響

No	大項目	小項目
45	環境へ与える影響	廃棄物
		ガス等の放出
		消費電力
		その他

k）その他関連する項目

ユーザーの要求

No	大項目	小項目
46	使用目的	製品開発
		品質管理
		受け入れ検査
		施工後の性能確認
		現位置測定
		その他
47	測定に対する要求精度	低
		中
		高

ユーザー側が判断する項目

No	大項目	小項目
48	測定回数	1回
		数回
		ロット別
		所定の数量から1回
49	測定箇所	

制御システム

No	大項目	小項目
50	試料温度制御方法（加熱）	
51	試料温度制御方法（冷却）	
52	周波数	
53	その他の制御	

装置に関連する情報

No	大項目	小項目
54	電源	電圧（V）
		電力容量（W）
		乾電池
		バッテリー
		その他
55	必要機材	装置のみ
		PC
		データロガー
		その他
56	消耗品	
57	その他	損傷しやすい箇所がある
		素手で触れてはいけない箇所がある
		その他注意が必要な箇所